



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 32 29 461.1  
②② Anmeldetag: 6. 8. 82  
④③ Offenlegungstag: 9. 2. 84

2

DE 32 29 461 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

⑦② Erfinder:  
Keller, Wolfgang, Dr., 8000 München, DE

⑤④ Vorrichtung zum tiegelfreien Zonenschmelzen eines, insbesondere aus Silicium bestehenden Halbleiterstabes

Für eine Vorrichtung zum tiegelfreien Zonenschmelzen eines Halbleiterstabes, die einen HF-Generator mit aus Tankkreisspule und -kondensator bestehendem, die Generatorfrequenz bestimmenden Resonanzkreis und eine von dem HF-Generator gespeiste Induktionsheizspule sitzt, wird eine technisch einfache und damit billige Generatoranordnung, die in ihrer Einfachheit einige Schwierigkeiten der bisher bekannten Konzepte vermeidet, dadurch erhalten, daß die Tankkreisspule als Primärwicklung der als Sekundärwicklung wirkenden Heizspule ausgestaltet ist und beide Spulen eine bauliche Einheit mit fester magnetischer Kopplung bilden. (32 29 461)

DE 32 29 461 A 1

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum tiegelfreien Zonenschmelzen eines an seinen Stabenden gehaltenen, insbesondere aus Silicium bestehenden, Halbleiterstabes, die einen Hochfrequenz-generator mit aus Tankkreisspule und -kondensator bestehenden, die Generatorfrequenz bestimmenden Resonanzkreis und eine von dem Hochfrequenzgenerator gespeiste den Halbleiterstab ringförmig umgebende Induktionsheizspule besitzt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Tankkreisspule als Primärwicklung der als Sekundärwicklung wirkenden Heizspule ausgestaltet ist und beide Spulen eine bauliche Einheit mit fester magnetischer Kopplung bilden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Primärwicklung zwei bis zehn, vorzugsweise vier Windungen besitzt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Primärwindungen als von Kühlflüssigkeit durchströmbare Rohre, z. B. Hohlzylinder ausgebildet sind.
4. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die die Primärwindungen bildenden Rohre rechteckförmigen Querschnitt besitzen.
5. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Primärwindungen aus Kupfer, versilbertem Kupfer oder Silber bestehen.
6. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Primärwindungen in einer Ebene angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Primärwindungen von einer als Energiekonzentrator wirkenden Windung umgeben sind.

5

8. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der die Sekundärwindung repräsentierende Energiekonzentrator Bohrungen für die Primärwindungen besitzt.

10

9. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der die Sekundärwindung repräsentierende Energiekonzentrator Bohrungen zur Kühlflüssigkeitsführung besitzt.

15

10. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 9, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der Raum zwischen den einzelnen Windungen der Primärwicklung und derjenige zwischen der Gesamtheit der Primärwindungen und der Sekundärwindung mit temperaturfestem Isolierstoff ausgefüllt ist.

11. Vorrichtung nach wenigsten einem der Ansprüche 1 bis 10, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß als 25 temperaturfester Isolierstoff Keramik, Silikonkautschuk, Silikonharz oder Polybismaleinimid zur Anwendung gelangt.

12. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 11, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der 30 die Sekundärwindung repräsentierende Energiekonzentrator in zwei, drei, vier oder sechs Segmente unterteilt ist.

13. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 12, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß 35 jedes Segment in seinem Mittelbereich Potentialanschlüsse hat.

14. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Segmente eine von innen nach außen zunehmende, vorzugsweise konisch verlaufende Dicke aufweisen.

5

15. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Segmente auf der Außenseite eine Dicke von etwa 5 bis 30 mm haben.

10

16. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die sich nach dem Zentrum hin verjüngenden Segmente auf der Innenseite einen Krümmungsradius von 0,5 bis 2 mm besitzen.

15

17. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Segmente gebildete kreisförmige Öffnung für den umzuschmelzenden Halbleiterstab einen Durchmesser von etwa 20 bis 40 mm besitzt.

18. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Außendurchmesser des Energiekonzentrators etwa 80 bis 500 mm beträgt.

19. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Energiekonzentrator aus Kupfer, Kupfer mit Silberüberzug oder Silber besteht.

20. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der die Heizfrequenz bestimmenden Tankkreiskondensator eine Kapazität von etwa 1000 bis 10000 pF besitzt.

21. Vorrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 20, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Tankkreisspule eine Induktivität von etwa 0,03 bis 30  $\mu\text{Hy}$ , vorzugsweise von 10  $\mu\text{Hy}$  besitzt.

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Berlin und München

Unser Zeichen  
VPA 82 P 1628 DE

- 5    Vorrichtung zum tiegelfreien Zonenschmelzen eines, insbesondere aus Silicium bestehenden Halbleiterstabes.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum tiegelfreien Zonenschmelzen eines an seinen Stabenden gehaltenen, insbesondere aus Silicium bestehenden, Halbleiterstabes, die einen HF-Generator mit aus Tankkreisspule und -kondensator bestehendem, die Generatorfrequenz bestimmenden Resonanzkreis und eine von dem HF-Generator gespeiste, den Halbleiterstab ringförmig umgebende Induktionsheizspule besitzt.

Beim Herstellen von Silicium durch tiegelfreies Zonenschmelzen wird ein Siliciumstab in einem evakuierten oder mit Schutzgas gefüllten Rezipienten senkrecht eingespannt und induktiv mittels einer Spule beheizt, die den Siliciumstab ringförmig umgibt. Die so erzeugte Schmelzzone wird langsam in einer Richtung durch den Stab geführt.

Es ist aus der DE-AS 24 25 468 (VPA 74/1081) ein Zonenschmelzverfahren bekannt, bei dem eine einen Halbleiterstab ringförmig und mit Abstand umgebende Induktionsheizspule durch einen zu ihr parallelgeschalteten Kondensator zu einem elektrischen Heizschwingkreis ergänzt wird und bei dem dieser Heizschwingkreis über ein Koaxialkabel und mindestens ein verstellbares Kopplungselement von einem eine Wechselspannung mit verstellbarer Frequenz liefernden Hochfrequenzgenerator beaufschlagt wird. Bei diesem Verfahren ist der Ausgang eines Hochfrequenzgenerators als Schwingkreis mit variierbarer Einstellung der Ausgangsfrequenz ausgestaltet. Die Ausgangsfrequenz wird über einen mit verstellbarer Kapazität ausgestatteten Kondensator des

Ausgangsschwingkreises eingestellt. Die Ankopplung des aus der Induktionsheizspule und einem ihr parallelgeschalteten Kondensator gebildeten Heizschwingkreises erfolgt über eine Hochfrequenzleitung, ein kapazitives Kopplungsglied und  
5 über eine Auskoppelspule, die ihrerseits mit der Induktionsspule des Ausgangsschwingkreises des Hochfrequenzgenerators einen Transformator mit veränderbarem Kopplungsgrad bildet.

10 Bei der Einleitung des tiegellosen Zonenschmelzen wird im allgemeinen die Schmelzzone zunächst an der Grenze zwischen einem einkristallinen Keimling und dem in einen Einkristall überzuführenden Siliciumstab erzeugt. Gewöhnlich ist der Durchmesser des Keimkristalls ein Vielfaches kleiner  
15 als der des umzuschmelzenden Stabes. Man sieht deshalb einen allmählichen Übergang des Durchmessers der Schmelzzone von dem des Keimkristalls zu dem des aufzuschmelzenden Stabes vor. Da der Durchmesser der Induktionsheizspule unverändert bleibt, tritt eine beträchtliche  
20 liche Änderung der Gegeninduktivität zwischen der Induktionsheizspule und dem Siliciumstab während der Verschiebung der Schmelzzone von der Grenze zum Keimkristall in den aufzuschmelzenden Siliciumstab auf. Die Gegeninduktivität und die Ankopplung des Siliciumstabes an die Induktionsheizspule nimmt mit wachsendem Durchmesser des  
25 Stabes zu. Dies hat im allgemeinen erhebliche Änderungen in der Schmelzzone erzeugten Stromes zur Folge.

Um dem zu begegnen, kann man bei einer Bandfilterschaltung,  
30 wie sie aus der DE-AS 24 25 468 bekannt ist, durch laufende Nachstellung der Auskopplung des Heizschwingkreises dafür sorgen, daß ein optimaler Arbeitspunkt des Heizschwingkreises in jedem Augenblick des Verfahrens gewährleistet ist. Eine solche Nachstellung ist aber aufgrund  
35 der überkritischen Kopplung insbesondere bei großen Laständerungen, wie sie beim tiegelfreien Zonenschmelzen von

Halbleiterstäben mit Durchmessern von mehr als 50 mm auftreten, schwierig zu bewerkstelligen. Ein Verzicht auf das Nachstellen der Kopplung erfordert andererseits einen hohen Aufwand bezüglich der Kühlung der einzelnen Schaltungsteile, insbesondere des Verbindungskabels zwischen  
5 HF-Generator und Heizschwingkreis.

Diese bekannten Bandfilterschaltungen, die einen guten Wirkungsgrad haben und eine sinusförmige Hochfrequenz  
10 liefern, haben ferner den Nachteil, daß die verwendete mechanische Leistungsregelung über die Frequenz sehr träge ist und zu schädlichen Temperaturschwankungen im Einkristall führen kann.

15 Beispielsweise aus der DE-OS 27 39 060 (VPA 77 P 1129) ist es bekannt, den Heiz-Parallelresonanzkreis von Zonenschmelzanlagen über einen Kopplungskondensator direkt an die Anode der Generatorröhre zu schalten und ihn aufgrund des kleinen Induktivitätswertes der gewöhnlich verwendeten  
20 Induktionsheizspule so auszuführen, daß der Induktionsheizspule eine Schwingkreisspule in Reihe geschaltet ist, die aus elektrischen Gründen im Vergleich zur Induktionsheizspule eine große Induktivität besitzt. Nach einer entsprechenden Schaltung arbeitende Apparaturen haben  
25 aber den Nachteil, daß die an der induktionsheizspule anliegende Spannung oberwellenreich ist und daher im Vergleich zu einem oberwellenarmen Schwingkreis bei gleicher Heizleistung eine höhere Spannung an der Induktionsheizspule benötigt wird. Damit aber steigt die Gefahr des  
30 Auftretens von Überschlägen im Bereich der Induktionsheizspule, die zu Schäden an der Zonenschmelzapparatur führen können. Zudem besitzt diese Schaltung einen schlechten Wirkungsgrad.

35 Aus der DE-OS 27 39 060 ist ferner eine Zonenschmelzapparatur bekannt, die einen aus einem Hochfrequenzgenerator

gespeisten Heiz-Parallelresonanzkreis aufweist, dessen induktiver Anteil durch eine Schmelzspule und eine dazu in Reihe liegende Spule mit im Vergleich zur Stab-Heizspule großer Induktivität gebildet ist und bei der der Stab-Heizspule ein veränderbarer Kondensator parallelgeschaltet ist, durch den der so gebildete Teil-Resonanzkreis auf eine Oberwelle der Hochfrequenzgenerator-Grundfrequenz abstimmbar ist. Auf diese Weise wird ermöglicht, daß Frequenzänderungen in diesem Teil-Resonanzkreis, die von Volumenschwankungen der Schmelzzone des aufgeschmolzenen Stabes hervorgerufen werden, als Ausgangsgröße zur Erzeugung des Ist-Wertes für die Stabdurchmesser-Regelung dienen.

Die in der Fig. 1 gezeigte Generatorschaltung ist beispielsweise in der DE-OS 27 39 060 beschrieben. Der Ausgang eines HF-Generators 1 ist über einen Koppelkondensator 3 mit einem Parallelschwingkreis verbunden, der aus dem Tankkreiskondensator 2 und den in Reihe geschalteten Spulen 4 und 5 besteht, wobei mit 5 die den Siliciumstab 6 umgebende Induktionsheizspule und mit 4 die Schwingkreisspule bezeichnet ist. Sie besitzt aus Gründen der Anpassung an den Innenwiderstand der Generatorröhre im Vergleich zur Induktionsheizspule 5 eine große Induktivität, da Induktionsheizspulen in der Regel einen kleinen Induktivitätswert aufweisen.

Da die HF-Spannung der Generatorröhre aufgrund des im allgemeinen verwendeten C-Betriebs sehr Oberschwingungsreich ist, ist die an der Induktionsheizspule 5 anliegende Hochfrequenz nicht annähernd sinusförmig, sondern oberwellenreich. Wie eingangs dargelegt, steigt damit die Gefahr von Überschlägen im Bereich der Induktionsheizspule 5, die zu Schäden an der Zonenschmelzanlage und zur Zerstörung eines wachsenden Einkristalls führen können.

Es sieht daher die DE-OS 29 38 348 (VPA 79 P 1155) vor, bei einer Zonenschmelzanordnung, einen guten Wirkungsgrad und ein annähernd sinusförmiges Signal dadurch zu erhalten, daß der von der Induktionsheizspule und dem Heizkreiskondensator gebildete Teil-Resonanzkreis auf eine Frequenz abgestimmt wird, die um weniger als den Faktor 2 von der Frequenz des HF-Generators abweicht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Schwierigkeiten, die bei der Energieversorgung der Induktionsheizspule bisheriger Lösungen in mehr oder weniger gravierender Form auftreten, durch die Verwirklichung einer einkreisigen Induktionsheizanlage mit hoher Energiedichte und gutem Wirkungsgrad zu beseitigen und die mehrkreisige, relativ aufwendige Anordnung zu verlassen.

Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, daß die Tankkreisspule als Primärwicklung der <sup>als</sup> Sekundärwicklung wirkenden Heizspule ausgestaltet ist und beide Spulen eine bauliche Einheit mit fester magnetischer Kopplung bilden.

Dadurch, daß die Primärspule des Schmelztransformators gleichzeitig Tankkreisspule des Generators wird, erhält man eine sehr einfache Schaltung mit nur wenigen Bauteilen; auch Röhren als aktive Bauelemente sind gut anpaßbar.

In der praktischen Realisierung besitzt die Primärwicklung zwei bis zehn, vorzugsweise vier Windungen, wobei alle Windungen als von Kühlflüssigkeit, z. B. Wasser, durch strömbare Rohre, z. B. Hohlzylinder, ausgebildet sind.

In Weiterbildung der Erfindung sind die vorzugsweise aus Kupfer, versilbertem Kupfer oder Silber bestehenden Primärwindungen in einer Ebene angeordnet. Sie können somit optimal von einer als Energiekonzentrator wirkenden

Sekundärwindung umschlossen werden, wobei der die Sekundärwindung repräsentierende Energiekonzentrator Bohrungen für diese Primärwindungen besitzt.

- 5 Der Energiekonzentrator muß darüberhinaus auch Bohrungen bzw. Aussparungen zur Kühlflüssigkeitsführung aufweisen.

- Um den Füllgrad hoch und damit die Kopplung zwischen Primär- und Sekundärwicklung groß zu machen, ist als weiterer  
10 Entwicklungsschritt vorgesehen, den die Primärwindungen bildenden Rohren rechteckförmigen Querschnitt zu verleihen.

- Weiterhin ist vorgesehen, den Raum zwischen den einzelnen Windungen der Primärwicklung und denjenigen zwischen der  
15 Gesamtheit der Primärwindungen und der Sekundärwindung mit temperaturfestem Isolierstoff auszufüllen. Als temperaturfester Isolierstoff eignen sich am besten Keramik, Silikonkautschuk, Silikonharz oder Polybismaleinimid.

- 20 Zur Verbesserung der Spannungsfestigkeit ist in der deutschen Anmeldung P 31 43 146.1 (VPA 81 P 1175 DE) bereits vorgeschlagen worden, den Energiekonzentrator einer einwindigen Heizspule in Segmente aufzuteilen. Eine Maßnahme, die auch bei der Spule gemäß vorliegender Erfindung mit  
25 Vorteil anwendbar ist. Zweckmäßigerweise ist der Energiekonzentrator in zwei, drei, vier oder sechs Segmente zu unterteilen und jedes Segment in seinem Mittelbereich mit Potentialanschlüssen zu versehen. Hiermit bleibt dann das magnetische Wechselfeld voll erhalten und wird an den auf-  
30 zuschmelzenden Halbleiterstab abgegeben, während das elektrische Feld der Spule durch Aufteilung des Energiekonzentrators in einzelne Segmente entsprechend herabgeteilt wird.

- 35 Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bilden die Primärwindungen und der die Sekundärwindung repräsentierende Energiekonzentrator eine bauliche

Einheit derart, daß die Segmente eine von innen nach außen zunehmende, vorzugsweise konisch verlaufende Dicke aufweisen, wobei die Segmente auf der Außenseite eine Dicke von etwa 5 bis 30 mm haben.

5

Bei einer Spule mit einem Außendurchmesser der Primärwicklung von etwa 80 bis 500 mm und einer durch die Segmente des Energiekonzentrators gebildeten kreisförmigen Öffnung für den umzuschmelzenden Halbleiterstab von etwa 20 bis 40 mm ist es möglich, daß die sich nach dem Zentrum verjüngenden Segmente auf der Innenseite einen Krümmungsradius von 0,5 bis 2 mm besitzen.

Zweckmäßigerweise besteht der Energiekonzentrator aus Kupfer, Kupfer mit Silberüberzug oder Silber.

Soll der Resonanzkreis mit einer HF-Spannung, deren Frequenz zwischen 1 und 10 MHz liegt, betrieben werden, so ist es vorteilhaft, einen Tankkreiskondensator in der Größe von 1000 bis 10000 pF zu wählen, womit die Induktivität der Tankkreisspule mit 0,03 bis 30  $\mu$ Hy festliegt.

Die Erfindung wird anhand von zwei als Ausführungsbeispiele zu wertenden Figuren 2 und 3 näher erläutert.

25

Die in Figur 2 gezeigte Generatorschaltung besitzt den HF-Generator 1, dessen Ausgang über den Gleichstrom-Trennkondensator 3 von beispielsweise 10000 pF mit dem Tankkreis, einem Parallelresonanzkreis, verbunden ist. Er besteht aus einem Tankkreiskondensator 2 von beispielsweise 10000 pF und einer Spule 7 mit z. B. vier Windungen. Besitzt die Spule 7 eine Induktivität von etwa 2,5  $\mu$ Hy, dann arbeitet der Generator mit einer Frequenz von 1 MHz.

Die Tankkreisspule ist als Primärwicklung der als Sekundärwicklung wirkenden Heizspule 8 ausgebildet. Mit dieser Maßnahme ist der HF-Generator im Prinzip fertig.

Neben den eingangs dargelegten Schwierigkeiten, die gemäß der vorliegenden Erfindung überwunden werden, wird dadurch, daß die Schwingkreisspule gleichzeitig die Heizspule ist, der Generataraufbau konstruktiv äußerst einfach. Der Generator ist billig und unkritisch gegen Laständerungen und hat einen sehr guten Wirkungsgrad.

Durch den Fortfall einer Vielzahl von sehr teuren und hochwertigen Bauelementen ist ein solcher Generator insbesondere bei den neuerdings sehr aktuell gewordenen Billigkonzepten bei der Herstellung von hochwertigem Silicium geeignet.

In der Praxis bedarf es zu dem Generator-Einfachkonzept einer besonders ausgestalteten Heizspule, die die Anpassung des hochohmigen Röhrengenerators an die niederohmige Halbleiterschmelze vornimmt.

Ein Beispiel solch einer gleichzeitig als Heizspule wirkenden Tankkreisspule ist in der Anordnung nach Fig. 3 dargestellt.

Die beispielsweise vier Windungen der Primärwicklung der Heiz- bzw. Tankkreisspule sind in einer Ebene angeordnet und bestehen aus eng aneinander liegenden, rechteckförmigen Kupferrohren. Das Rohrinne wird im Betrieb von Kühlwasser durchflossen.

Gegeneinander und gegenüber der sie umgebenden Sekundärwindung sind die Kupferrohre mit temperaturfestem Isolierstoff, z. B. Silikonkautschuk isoliert. Die Sekundärwindung ist als Energiekonzentrator ausgebildet, in den die Primärwindungen eingebettet sind und der zusätzlich Bohrungen für die auch ihn durchströmende Kühlflüssigkeit besitzt. In der Anordnung nach Fig. 2 ist dies durch das Wasserzuführungsrohr und das Wasserabführungsrohr angedeutet. Der z. B. aus versilbertem Kupfer be-

- stehende Energiekonzentrator ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel in mehrere, vorzugsweise vier Segmente unterteilt; er kann selbstverständlich auch unsegmentiert ausgeführt sein. Der besseren Übersicht wegen ist in Fig. 2 statt des ganzen die Gesamtheit der Primärwindungen umgebenen Energiekonzentrators nur ein Segment dargestellt, während Fig. 3 einen Schnitt quer durch die Heizspule zeigt.
- 10 Der Raum 17 zwischen der Segmenten ist ebenfalls mit temperaturfestem Isolierstoff, z. B. Silikongummi, ausgefüllt.

- Die Aufteilung des Energiekonzentrators in mehrere Segmente geschieht entsprechend dem älteren Vorschlag P 31 43 146.1. Durch diese Maßnahme ist es möglich, die Spannungsfestigkeit der Heizspule wesentlich zu erhöhen. Hat die Sekundärwindung eine Spannung von beispielsweise 1000 Volt gegenüber dem auf Erdpotential liegendem Halbleiterstab, dann reduziert sich die Spannung jedes Segments um den entsprechenden Anteil. Bei Verwendung von vier Segmenten entfällt auf jedes Segment 250 Volt. Wird von der Mittelerdung eines jeden Segments Gebrauch gemacht, so halbiert sich (analog der Spannungsteilung nach DE-PS 19 13 88 und der DE-Anmeldung P 31 43 146.1) die Spannung, die jedes Segment gegenüber der geerdeten Schmelze besitzt, noch einmal. Die kritische Spannung zwischen Schmelze und den Segmentenden, beim Segment 8 in Fig. 2 sind es die Enden 14 und 15, wird nochmals um den Faktor 2 reduziert.

- 30 Die Mittelerdung eines Segments erfolgt in einfacher Weise durch die Erdung der in die Segmentmitte geführten Kühlwasseranschlüsse 12, 13.

- 35 Eine technisch elegante Lösung besteht, wie in den Figuren 2 und 3 dargestellt, darin, daß die Segmente eine von innen nach außen zunehmende, vorzugsweise konisch ver-

laufende, Dicke aufweisen.

In der Praxis bewährt sich eine Spule, deren kreisförmige durch die Segmente gebildete Öffnung 16 zur Durchführung:  
5 des umzuschmelzenden Halbleiterstabes einen Durchmesser von 20 bis 40 mm bei einem Heizspulenaußendurchmesser von 80 bis 500 mm hat.

Besitzen die Segmente auf der Außenseite eine Dicke von  
10 etwa 20 mm, so kann trotz der Bohrungen auf der Innenseite ein Krümmungsradius von 1 mm eingehalten werden.

Um Halbleiterkristallstäbe mit großen Stabdurchmessern zonenzuschmelzen, ist es gemäß einem Ausführungsbeispiel  
15 nach der Lehre der Erfindung auch möglich, die Induktionsheizspule zerlegbar aufzubauen, wobei die Trennung durch die Windungen und Segmente hindurch geht und zwei getrennte Elemente ergeben, die durch Schraubverbindungen und für die Kühlung vorgesehene Abdichtungen miteinander  
20 verbunden werden.

1 / 1

FIG 1

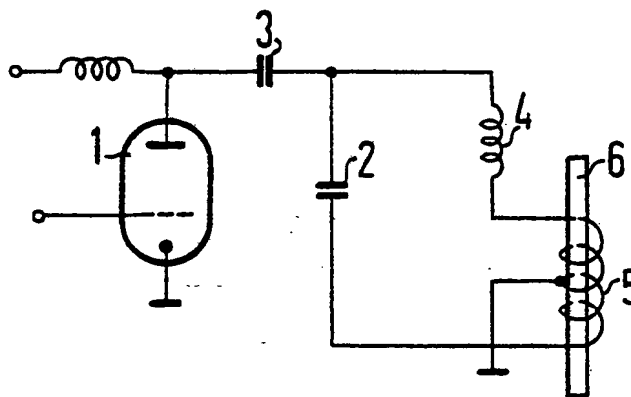


FIG 2

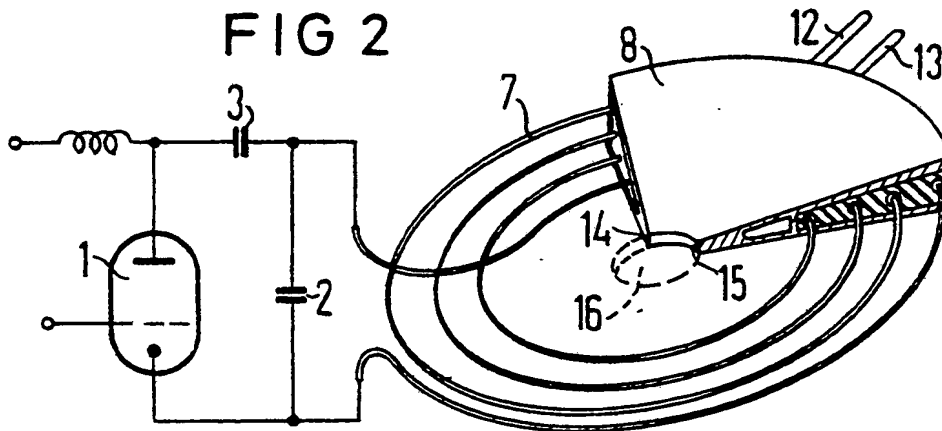


FIG 3

